

**RADIAL ANISOTROPIC SINTERED MAGNET, ITS MANUFACTURING METHOD,
AND MAGNET ROTOR AND MOTOR**

Publication number: JP2004153867

Publication date: 2004-05-27

Inventor: SATO KOJI; KAWABATA MITSUO; MINOWA
TAKEHISA

Applicant: SHINETSU CHEMICAL CO

Classification:

- international: B22F3/02; H02K1/16; H02K1/27; H02K15/03;
H02K21/14; B22F3/02; H02K1/16; H02K1/27;
H02K15/03; H02K21/14; (IPC1-7): H02K1/27; B22F3/02;
H02K1/16; H02K15/03; H02K21/14

- european:

Application number: JP20020310880 20021025

Priority number(s): JP20020310880 20021025; JP20010334440 20011031;
JP20010334441 20011031; JP20010334442 20011031;
JP20010334443 20011031; JP20020259477 20020905

Report a data error here

Abstract of JP2004153867

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a radial anisotropic sintered magnet which has excellent magnetic properties without cracks or cracking at sintering or aging cooling even in such a form that the inner-outer diameter ratio is small.

SOLUTION: This radial anisotropic sintered magnet contains a section which is formed cylindrical and oriented in a direction inclined at an angle of 30[deg.] or larger relative to the radial direction, not less than 2% and not more than 50% of a magnet volume, and the residual section of the magnet volume is oriented in the radial direction or with its inclination to the radial direction at angle of 30[deg.] or smaller.

COPYRIGHT: (C)2004,JPO

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-153867

(P2004-153867A)

(43) 公開日 平成16年5月27日 (2004.5.27)

(51) Int. Cl.⁷

F1

テーマコード (参考)

H02K 1/27

H02K 1/27

501A

4K018

B22F 3/02

B22F 3/02

R

5H002

H02K 1/16

H02K 1/16

C

5H621

H02K 15/03

H02K 15/03

G

5H622

H02K 21/14

H02K 21/14

M

審査請求 未請求 請求項の数 19 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2002-310880 (P2002-310880)

(71) 出願人 000002060

(22) 出願日 平成14年10月25日 (2002.10.25)

信越化学工業株式会社

(31) 優先権主張番号 特願2001-334440 (P2001-334440)

東京都千代田区大手町二丁目6番1号

(32) 優先日 平成13年10月31日 (2001.10.31)

(74) 代理人 100079304

(33) 優先権主張国 日本国 (JP)

弁理士 小島 隆司

(31) 優先権主張番号 特願2001-334441 (P2001-334441)

(74) 代理人 100114513

(32) 優先日 平成13年10月31日 (2001.10.31)

弁理士 重松 沙織

(33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(74) 代理人 100120721

(31) 優先権主張番号 特願2001-334442 (P2001-334442)

弁理士 小林 克成

(32) 優先日 平成13年10月31日 (2001.10.31)

(72) 発明者 佐藤 孝治

(33) 優先権主張国 日本国 (JP)

福井県武生市北府2-1-5 信越化学工

(31) 優先権主張番号 特願2001-334443 (P2001-334443)

業株式会社磁性材料研究所内

(32) 優先日 平成13年10月31日 (2001.10.31)

(72) 発明者 川端 光雄

(33) 優先権主張国 日本国 (JP)

福井県武生市北府2-1-5 信越化学工

業株式会社武生工場内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ラジアル異方性焼結磁石及びその製造方法並びに磁石ロータ及びモータ

(57) 【要約】

【解決手段】 円筒状に形成され、ラジアル方向に対し30°以上傾いた方向に配向した部位を磁石体積の2%以上50%以下含有し、磁石体積の残りの部位がラジアル方向乃至ラジアル方向に対する傾きが30°未満に配向したものであることを特徴とするラジアル異方性焼結磁石。

【効果】 本発明のラジアル異方性焼結磁石は、内外径比の小さな形状においても焼結及び時効冷却時の割れ、クラックのない優れた磁石特性を有する。

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

円筒状に形成され、ラジアル方向に対し 30° 以上傾いた方向に配向した部位を磁石体積の 2% 以上 50% 以下含有し、磁石体積の残りの部位がラジアル方向乃至ラジアル方向に対する傾きが 30° 未満に配向したものであることを特徴とするラジアル異方性焼結磁石。

【請求項 2】

円筒磁石用成形金型のコアの少なくとも一部の材質に飽和磁束密度 5 kG 以上を有する強磁性体を用い、金型キャビティ内に充填した磁石粉を水平磁場垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して成形することを特徴とするラジアル異方性焼結磁石の製造方法。

【請求項 3】

水平磁場垂直成形で発生する磁場が $0.5 \sim 12\text{ kOe}$ であることを特徴とする請求項 2 記載のラジアル異方性焼結磁石の製造方法。

【請求項 4】

円筒磁石用成形金型のダイス材に非磁性体をトータル角度 20° 以上 180° 以下の領域に亘り少なくとも 1 つ以上配し、金型キャビティ内に充填した磁石粉を垂直磁場垂直成形法により磁石粉に磁界を印加して成形することを特徴とするラジアル異方性焼結磁石の製造方法。

【請求項 5】

円筒磁石用成形金型のコアの少なくとも一部の材質に飽和磁束密度 5 kG 以上を有する強磁性体を用い、金型キャビティ内に充填した磁石粉を水平磁場垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して成形することにより、ラジアル異方性磁石を製造する方法であって、下記 (i) ～ (v) のうちの少なくとも 1 つの操作を行うことを特徴とするラジアル異方性焼結磁石の製造方法。

(i) 磁場印加中、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させる

(i-1) 磁場印加後、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させ、その後再び磁場を印加する、

(i-1-1) 磁場印加中、磁場発生コイルを磁石粉に対し金型周方向に所定角度回転させる、

(i v) 磁場印加後、磁場発生コイルを磁石粉に対し金型周方向に所定角度回転させ、その後再び磁場を印加する、

(v) 磁場発生コイルを 2 対以上配置し、1 対のコイルが磁場を印加した後、別のコイル対が磁場を印加するの操作のうち少なくとも一の操作を行うことを特徴とするラジアル異方性焼結磁石の製造方法。

【請求項 6】

充填磁石粉を回転させる際、コア、ダイス及びパンチのうち少なくとも 1 つを周方向に回転させることで充填磁石粉を回転せしめることを特徴とする請求項 5 記載のラジアル異方性焼結磁石の製造方法。

【請求項 7】

磁場印加後充填磁石粉を回転させる際、強磁性コア又は磁石粉の残留磁化の値が 50 G 以上であり、コアを周方向に回転させることで磁石粉を回転せしめることを特徴とする請求項 5 記載のラジアル異方性焼結磁石の製造方法。

【請求項 8】

水平磁場垂直成形工程で発生する磁場が、 $0.5 \sim 12\text{ kOe}$ であることを特徴とする請求項 5 乃至 7 のいずれか 1 項記載のラジアル異方性磁石の製造方法。

【請求項 9】

複数個のステータ歯を有するモータにラジアル異方性円筒磁石を組み込んでなる永久磁石モータにおいて、前記円筒磁石が、円筒磁石用成形金型のコアの少なくとも一部の材質に飽和磁束密度 5 kG 以上を有する強磁性体を用い、金型キャビティ内に充填した磁石粉を水平磁場垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して成形作製されたラジアル異方性円

10

20

30

40

50

筒磁石であって、周方向の着磁極数が $2 \cdot n$ (n は2以上50以下の正の整数)個のとき、この円筒磁石と組み合わせるステータの歯数が $3 \cdot m$ (m は2以上33以下の正の整数)個であり、かつ $2 \cdot n \neq 3 \cdot m$ であることを特徴とする周方向に多極に着磁した永久磁石モータ。

【請求項11(0)】 請求項11(0)記載の永久磁石モータにおいて、円筒磁石における周方向の着磁極数が k (k は4以上の正の偶数)個のとき、この円筒磁石と組み合わせるステータの歯数が $3 \cdot k \cdot j / 2$ (j は1以上の正の整数)個であることを特徴とする請求項9記載の永久磁石モータ。

【請求項11(1)】 請求項11(0)記載の永久磁石モータにおいて、円筒磁石のN極とS極との境界が、ラジアル方向に対し 3.0° 以上傾いた方向に配向した部位の中央部に対し、 0.0° 以内にあることを特徴とする請求項9又は11(0)記載の永久磁石モータ。

【請求項11(2)】 請求項11(0)記載の永久磁石モータにおいて、円筒磁石のスキュー角度が円筒磁石の1極分の角度の $1/10 \sim 2/3$ で、多極スキュー着磁することを特徴とする請求項9乃至11のいずれか1項記載の永久磁石モータ。

【請求項11(3)】 請求項11(0)記載の永久磁石モータにおいて、ステータ歯のスキュー角度が円筒磁石の1極分の角度の $1/10 \sim 2/3$ のスキュー歯をもつことを特徴とする請求項9乃至11(2)のいずれか1項記載の永久磁石モータ。

【請求項11(4)】 請求項11(0)記載の永久磁石モータにおいて、円筒磁石が水平磁場垂直成形で発生する磁場を $0.5 \sim 12 \cdot k \cdot Oe$ として成形した磁石を使用したことを特徴とする請求項9乃至11(3)のいずれか1項記載の永久磁石モータ。

【請求項11(5)】 請求項11(0)記載の永久磁石モータにおいて、円筒磁石が成形金型のコアの少なくとも一部の材質に飽和磁束密度 $5 \cdot k \cdot G$ 以上を有する強磁性体を用い、金型キャビティ内に充填した磁石粉を水平磁場垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して成形作製され、これを多極着磁して得られたラジアル異方性円筒磁石の複数個を軸方向に2段以上積み重ねてなることを特徴とする多段長尺多極着磁円筒磁石ロータ。

【請求項11(6)】 請求項11(0)記載の永久磁石モータにおいて、円筒磁石の積み重ね数を i (i は2以上10以下の正の整数)とすると、各円筒磁石の配向磁場方向と同一方向を $18.0/i^\circ$ の角度だけずらして1個積み重ねてなる請求項11(5)記載の多段長尺多極着磁円筒磁石ロータ。

【請求項11(7)】 請求項11(0)記載の永久磁石モータにおいて、円筒磁石の多極着磁の極数を n (n は4以上50以下の正の整数)とすると、積み重ね数 i と極数 n とが $i = n/2$ の関係にある請求項11(5)又は11(6)記載の多段長尺多極着磁円筒磁石ロータ。

【請求項11(8)】 請求項11(0)記載の永久磁石モータにおいて、円筒磁石の外周面に n 極の多極着磁を行うに際し、1極の角度を $360/n^\circ$ とし、この角度の $1/10 \sim 2/3$ の角度でスキュー着磁されてなる請求項11(5)乃至11(7)のいずれか1項記載の多段長尺多極着磁円筒磁石ロータ。

【請求項11(9)】 請求項11(5)乃至11(8)のいずれか1項記載の多段長尺多極着磁円筒磁石ロータを用いることを特徴とする永久磁石式モータ。

【発明の詳細な説明】
【010, 001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ラジアル異方性焼結磁石及びラジアル異方性焼結磁石の製造方法に関する。また、本発明は、サーボモータ、スピンドルモータ等の同期式永久磁石モータ用円筒磁石ロータ及びこれを用いた永久磁石式モータの改良に関する。

【00002】

【従来の技術】

フェライトや希土類合金のような結晶磁気異方性材料を粉砕し、特定の磁場中でプレス成形を行って作製される異方性磁石は、スピーカ、モータ、計測器、その他の電気機器等に広く使用されている。このうち特にラジアル方向に異方性を有する磁石は、磁気特性に優れ、自由な着磁が可能であり、またセグメント磁石のような磁石固定用の補強の必要もないため、ACサーボモータ、DCブラシレスモータ等に使用されている。特に近年はモータの高性能化にともない、長尺のラジアル異方性磁石が求められてきた。

【0003】 ラジアル配向を有する磁石は、垂直磁場垂直成形法又は後方押し出し法により製造される。

垂直磁場垂直成形法は、プレス方向より、コアを介して磁場を対抗方向から印加し、ラジアル配向を得ることを特徴とするものである。即ち、垂直磁場垂直成形法は、図2に示されるように、配向磁場コイル2において発生させた磁場をコア4及び5を介して対抗させ、コアよりダイス3を通過し、成形機架台1を経て循環するような磁気回路にて、充填磁石粉8をラジアル配向させるものである。なお、図中6は上パンチ、7は下パンチである。

【0004】 このように、この垂直磁場垂直成形装置において、コイルにより発生した磁界はコア、ダイス、成形機架台、コアとなる磁路を形成させている。この場合、磁場漏洩損失低下のため、磁路を形成する部分の材料には強磁性体を用い、主に鉄系金属が使われる。しかし、磁石粉を配向させるための磁場強度は、以下のようにして決まってしまう。コア径をB（磁石粉充填内径）、ダイス径をA（磁石粉充填外径）、磁石粉充填高さをLとする。上下コアを通過した磁束がコア中央でぶつかり対抗し、ダイスに至る。コアを通過した磁束量はコアの飽和磁束密度で決定され、鉄製コアで磁束密度が20kG程度である。従って磁石粉充填内外径での配向磁場は、上下コアの通った磁束量を磁石粉充填部の内面積及び外面積で割ったものとなり、

内周での磁場強度は、
$$2 \cdot \pi \cdot \frac{(B^2/2)}{L} \cdot 20 \div (\pi \cdot B \cdot L) = 10 \cdot B/L$$
となる。外周での磁場強度は、
$$2 \cdot \pi \cdot \frac{(B^2/2)}{L} \cdot 20 \div (\pi \cdot A \cdot L) = 10 \cdot B^2/(A \cdot L)$$
となる。外周での磁場は内周より小さいので、磁石粉充填部すべてにおいて良好な配向を得るには、外周で10kOe以上必要であり、このため、 $10 \cdot B^2/(A \cdot L) = 10$ となり、従って、 $L = B^2/A$ となる。成形体高さは充填粉の高さの約半分であり、更に8割程度になるので、磁石の高さは非常に小さくなる。このようにコアの飽和が配向磁界の強度を決定するためコア形状により配向可能な磁石の大きさ即ち高さが決まってしまう。円筒軸方向に長尺品を製造することが困難であった。特に、径が小さな円筒磁石では非常に短尺品しか製造することができなかった。

【0005】 また、後方押し出し法は設備が大掛かりで、歩留まりが悪く、安価な磁石を製造することが困難であった。

【0006】 このようにラジアル異方性磁石は、いかなる方法においても製造が困難であり、安く大量に製造することは更に難しく、ラジアル異方性磁石を用いたモータも非常にコストが高くなってしまうという不利があった。

【0007】 焼結磁石でラジアル異方性リング磁石を製造する場合、異方性化に伴い、焼結及び時効冷却過程において、磁石のC軸方向とC軸垂直方向との線膨張係数の差により発生する応力が磁石の機械的強度より大きい場合、割れやクラックが発生し問題となる。このため、R-Fe-B系焼結磁石では内外径比0.6以上の磁石形状でのみ製造が可能であった（日立金属技報Vol. 6, p 33~36）。更に、R-(Fe, Co)-B系焼結磁石では、Feを置換したCoは合金組織中主相の2-14-1相に含まれるだけでなく、Rリッチ相中でR₃Coを形成し、機械的強度を著しく低減する。しかもキュリー温度が高いため、冷却時のキュリー温度～室温間におけるC軸方向及びC軸垂直方向の熱膨張率変化量も大きくなり、割れ、クラックの発生原因である残留応力が増大する。このためR-(F

e, Co) 系 B 系ラジアル異方性リング磁石は Co の入らない R-Fe-B 系磁石より更に形状制限が厳しく、内外径比 0.9 以上の形状でしか安定した磁石生産が行えなかった。また、フェライト磁石、Sm-Co 系磁石においても同じ理由により、割れ、クラックが発生し、安定生産できていない状態である。

【00058】ラジアル異方性化に伴う焼結及び時効冷却過程で発生する割れ又はクラックの原因となる周方向の残留応力は、フェライト磁石に関する Koo, I. S. の検討結果 (F. Koo, I. S.: Science of Ceramics, Vol. 7, (1973), 29-45) に示され、式 (1) のように表される。

$$\sigma_{\theta} = \Delta T (\Delta \alpha E K^2 / (1 - K^2) + (K \beta_K \eta K^2 - K \beta_{-K} \eta K^2 - 1)) \quad (1)$$

… (1) のうち、

σ_{θ} : 周方向の応力

ΔT : 温度差

$\Delta \alpha$: 線膨張係数の差 ($\alpha_{\parallel} - \alpha_{\perp}$)

E : 配向方向のヤング率

K^2 : ヤング率の異方性比 ($E_{\perp} / E_{\parallel}$)

η : 位置 (r / 外径)

β_K : $(1 - \rho^{1+K}) / (1 - \rho^{2K})$

ρ : 内外径比 (内径 / 外径)

【0009】

上記式のうち、割れ又はクラックの原因に最も大きな影響を与える項は、 $\Delta \alpha$: 線膨張係数の差 ($\alpha_{\parallel} - \alpha_{\perp}$) であり、フェライト磁石、Sm-Co 系希土類磁石、Nd-Fe-B 系希土類磁石では、結晶方向による熱膨張率の差 (熱膨張異方性) はキュリー温度より発現し、冷却時の温度低下により増大する。このとき、残留応力が磁石の機械強度以上となり、割れに至る。

【0010】

上記式による、配向方向と配向方向に垂直な方向における熱膨張の違いによる応力は、円筒磁石が、径方向にラジアル配向するがゆえに発生する。従って、一部がラジアル配向と異なる配向を有する円筒磁石を製造すれば割れが発生することはない。例えば、水平磁場垂直成形法によつて作製された、円筒軸に垂直な一方向に配向された円筒磁石は、フェライト磁石、Sm-Co 系希土類磁石、Nd-Fe (Co) 系希土類磁石のどのタイプの磁石においても割れることはない。

【0011】個々のラジアル異方性磁石を用いずとも円筒磁石に多極着磁が行え、磁束密度が高く、かつ極間における磁束密度のばらつきが小さければ、高性能の永久磁石モータ用の磁石となりうる。水平磁場垂直成形法により円筒軸に垂直な一方向に配向させた磁石を、着磁のみを多極にする事により、ラジアル異方性磁石を用いずとも永久磁石モータ用円筒多極磁石を作製する方法が提案されている (電気学会マグネティクス研究会資料, MAG-8, 5-120, 1985)。水平磁場垂直成形法により製造された、円筒軸に垂直な一方向に配向された磁石 (以下、径方向配向円筒磁石と呼ぶ) は、プレス機のキャビティが許すかぎりの長尺化 (50 mm 以上) に加えて多連プレスが行えるので、1 度のプレスで多数個の成形体を得られ、高価なラジアル異方性磁石の代わりに廉価にモータ用円筒磁石を供給することができる。

【0012】

しかし、実際には水平磁場垂直成形法により作製された径方向配向の円筒磁石に多極着磁を行った磁石は、配向磁場方向近傍の極では磁束密度が高く、配向磁場方向に垂直な極では磁束密度が小さいため、モータに組みモータを回転させると、極間の磁束密度のばらつきを反映したトルクむらが生じてしまい、実用に耐えうるモータ用磁石とはいえなかった。

【0013】

この課題を解決するために、特許文献1では、水平磁場垂直成形法によつて作製された、円筒軸に垂直な一方向に配向された円筒磁石における周方向の着磁極数が $2n$ (n は1より大きく50より小さい正の整数)個のとき、この円筒磁石と組み合わせるステータの歯数の数が $3m$ (m は1より大きく33より小さい正の整数)個とする提案がなされている。特許文献2では、着磁極数が k (k は4以上の正の偶数)個のとき、この円筒磁石と組み合わせるステータの歯数が $3k + j/2$ (j は1以上の正の整数)個とする提案がなされている。また、特許文献3では、円筒軸に垂直な一方向に配向された円筒磁石で角度をずらして段積みすることでトルクむらを低減する提案がなされている。

【0014】

しかし、特許文献1～3とも、トルクむらは低減するものの、リング磁石内で径方向に配向した部分が少なく、同じ磁気特性を有するラジアル磁石に対し、モータにした際のドータルトルクが70%と小さく、実用化されていない。

【0015】

【特許文献1】

特開2000-116089号公報

【特許文献2】

特開2000-116090号公報

【特許文献3】

特開2000-175387号公報

【非特許文献1】

日立金属技術資料V01.76, pp.33-36, 1994.5. 日立金属技術資料V01.76, pp.33-36, 1994.5.

【非特許文献2】

F. K. O. L. S. - S. C. i. e. n. t. e. G. o. f. C. e. r. a. m. i. c. s. V01.76, pp.33-36, 1994.5. 日立金属技術資料V01.76, pp.33-36, 1994.5.

【非特許文献3】

電気学会マグネティクス研究会資料

MAG-85-120, 1985.5. 日立金属技術資料V01.76, pp.33-36, 1994.5.

【0016】

【発明が解決しようとする課題】従つて、本発明の第1の目的は、内外径比の小さな形状においても焼結及び時効冷却時の割れ、クラックのない優れた磁石特性を有するラジアル異方性焼結磁石を提供することにある。

また、本発明の第2の目的は、多連、長尺品が容易に生産可能で、高性能の永久磁石モータを安価に実現することができるラジアル異方性焼結磁石の製造方法を提供することにある。

本発明の第3の目的は、安価でかつ高性能の永久磁石モータを提供することにある。

本発明の第4の目的は、ラジアル異方性磁石を用いても多極着磁が行え、磁束密度が高く、かつ極間の磁束密度のばらつきが小さく、モータに組み込み回転させるとき、高トルクでかつトルクむらを生じることのない、廉価で大量生産可能な多段長尺多極着磁円筒磁石モータ及びこれを用いた永久磁石式モータを提供することにある。

【0017】

【課題を解決するための手段及び発明の実施の形態】

本発明は第1の目的を達成するため、円筒状に形成され、ラジアル方向に対し 30° 以上傾いた方向に配向した部位を磁石体積の2%以上50%以下含有し、磁石体積の残り[の部位がラジアル方向乃至ラジアル方向に対する傾きが 30° 未満に配向したものであることを特徴とするラジアル異方性焼結磁石を提供する。また、かかる磁石を得る方法として、円筒磁石用成形金型のコアの少なくとも一部の材質に飽和磁束密度 5 kG 以上を有する強磁性体を用い、金型キャビティ内に充填した磁石粉を水平磁場垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して成形することを特徴とするラジアル異方性焼結磁石の製造方法を提供する。この場合、水平磁場垂直成形で発生する磁場が $0.5 \sim 12\text{ kOe}$ であることが好

ましい。更に、本発明は、円筒磁石用成形金型のダイス材に非磁性体をトータル角度 20° 以上 180° 以下の領域に亘り、少なくとも1つ以上配し、金型キャビティ内に充填した磁石粉を垂直磁場垂直成形法により磁石粉に磁界を印加して成形することを特徴とするラジアル異方性焼結磁石の製造方法を提供する。

【0018】即ち、本発明者らは、上記目的を達成するために鋭意努力を重ねた結果、円筒磁石の径方向への配向を、全体的にラジアル配向とし、一部分意図的に乱すことで、焼結・時効時の冷却過程において、割れ・クラックの発生のない安定した生産を実現でき、尚且つモータに組み込んだ際、大きなトルクを得ることができることを見出したものである。

【0019】本発明によれば、磁場が均一で内外径比の小さな形状においても、焼結及び時効冷却時の割れ、クラックのない、優れた磁石特性を有するR-Fe(Co)-B系ラジアル異方性焼結磁石を安定して生産でき、これはACサーボモータ、DCブラシレスモータ、スピーカ用磁石等の高性能化、ハイクパワー化、小型化等に有用であり、特に自動車用スロットバルブ等に使用される径方向2極着磁磁石の生産においても有効であり、性能の優れた同期式磁石モータ用円筒磁石を安価かつ大量に供給することができる。

【0020】また、本発明は、第2の目的を達成するため、円筒磁石用成形金型のコアの少なくとも一部の材質に飽和磁束密度 5 kG 以上を有する強磁性体を用い、金型キャビティ内に充填した磁石粉を水平磁場垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して成形することにより、 20° ラジアル異方性磁石を製造する方法であって、下記(ⅰ)～(Ⅴ)のうちの少なくとも1つを有する。

- (ⅰ) 磁場印加中、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させる、
- (ⅱ) 磁場印加後、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させ、その後再び磁場を印加する、
- (ⅲ) 磁場印加中、磁場発生コイルを磁石粉に対し金型周方向に所定角度回転させる、
- (ⅳ) 磁場印加後、磁場発生コイルを磁石粉に対し金型周方向に所定角度回転させ、その後再び磁場を印加する、
- (Ⅴ) 磁場発生コイルを2対以上配置し、1対のコイルが磁場を印加した後、別のコイルが磁場を印加する

の操作のうち少なくとも一の操作を行うことを特徴とするラジアル異方性磁石の製造方法を提供する。ここで、充填磁石粉を回転させる際、コア、ダイス及びパジチのうち少なくとも1つを周方向に回転させることで充填磁石粉を回転せしめることができる。また、磁場印加後充填磁石粉を回転させる際、強磁性コア又は磁石粉の残留磁化の値が 50 G 以上であり、コアを周方向に回転させることで磁石粉を回転せしめることができる。この場合、水平磁場垂直成形工程で発生する磁場が $0.5\sim 1.2\text{ kOe}$ であることが好ましい。

【0021】この第2の発明によれば、生産性が低く高価なラジアル異方性磁石を用いずに、多連、長尺品が容易に生産可能で、磁場が均一で安価で大量に安定して供給できる、水平磁場垂直成形法で製造される径方向配向円筒磁石を用いて高性能の永久磁石モータを実現することができ、ACサーボモータ、DCブラシレスモータ等の高性能モータの低価格化に有用である。

【0022】本発明は、第3の目的を達成するため、複数個のステータ歯を有するモータにラジアル異方性円筒磁石を組み込んでなる永久磁石モータにおいて、前記円筒磁石が、円筒磁石用成形金型のコアの少なくとも一部の材質に飽和磁束密度 5 kG 以上を有する強磁性体を用い、金型キャビティ内に充填した磁石粉を水平磁場垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して成形作製されたラジアル異方性円筒磁石であって、周方向の着磁極数が $2n$ (n は2以上50以下の正の整数)個のとき、この円筒磁石と組み合わせるステータの歯数が $3m$ (m は2以上33以下の正の整数)個であり、かつ $2n \neq 3m$ であることを特徴とする

周方向に多極に着磁した永久磁石モータを提供する。この場合、円筒磁石における周方向の着磁極数が k (k は4以上の正の偶数)個のとき、この円筒磁石と組み合わせるステータの歯数が $3k \pm j/2$ (j は1以上の正の整数)個であることが好ましく、また、円筒磁石のN極とS極との境界がラジアル方向に対し 30° 以上傾いた方向に配向した部位の中央部に対し、 10° 以内にあることが好ましい。更に、円筒磁石のスキュー角度が円筒磁石の1極分の角度の $1/1.0 \sim 2/3$ で、多極スキュー着磁するのが好ましく、特にステータ歯のスキュー角度が円筒磁石の1極分の角度の $1/1.0 \sim 2/3$ のスキュー歯をもつことが好ましい。また、更に水平磁場垂直成形で発生する磁場を $0.5 \sim 12 \text{ kOe}$ として成形した磁石を使用することが好ましい。

【0023】

本発明によれば、性能の優れた同期式磁石モータに用いる円筒磁石を、特に長尺でかつ廉価で大量に供給することができる。

【0024】

本発明は、第4の目的を達成するため、円筒磁石用成形金型のコアの少なくとも一部の材質に飽和磁束密度 5 kG 以上を有する強磁性体を用い、金型キャビティ内に充填した磁石粉を水平磁場垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して成形作製され、これを多極着磁して得られたラジアル異方性円筒磁石の複数を軸方向に2段以上積み重ねてなることを特徴とする多段長尺多極着磁円筒磁石ロータを提供する。この場合、円筒磁石の積み重ね数を i (i は2以上10以下の正の整数)とし、各円筒磁石の配向磁場方向と同一方向を $180/1^\circ$ の角度だけずらして1個積み重ねることが好ましく、また、多極着磁の極数を n (n は4以上50以下の正の整数)とするとき、積み重ね数 i と極数 n とが $i = n/2$ の関係にあることが好ましい。更に、円筒磁石の外周面に多極の多極着磁を行うに際し、1極の角度を $360/n^\circ$ とし、この角度の $1/1.0 \sim 2/3$ の角度でスキュー着磁されてなることが好ましい。本発明は、上記多段長尺多極着磁円筒磁石ロータを用いた永久磁石式モータをも提供する。

【0025】

即ち、上記構成とすることにより、極間の磁束密度のばらつきを大きく軽減し、高トルクでトルクむらのないスムーズな回転を実現できるモータ用磁石、即ち、多段長尺多極着磁円筒磁石ロータ及びこれを用いた永久磁石式モータの製造を可能としたものである。

【0026】

以下、本発明につき更に詳しく説明する。本発明に係るラジアル異方性焼結磁石は、円筒磁石であって、全体的にはラジアル方向（径方向）に配向され、但し、磁石体積の2%以上50%以下の部位がラジアル方向に対し 30° 以上 90° 以下配向するようにしたものである。

【0027】

本発明のラジアル異方性焼結磁石は、このようにラジアル方向に対し $30 \sim 90^\circ$ 傾いた方向に配向された部位が磁石体積の2～50%であるものである。

【0028】

即ち、上述した式(1)で示される応力は、径方向にラジアル配向した周方向への連続体、つまり、円筒磁石であるがゆえに発生する。従って、一部分連続的な配向が阻害されれば応力は減少する。そこで、ラジアル方向に対し 30° 以上傾いた方向に配向した部位を磁石体積の2%以上50%以下含有せしめることにより、割れずに生産できる磁石である。30%以上傾いた部分が2%より小さい場合、割れを防ぐ効果が小さく、30%以上傾いた部分が50%より多い場合は、モータ用ロータとした際のトルク不足を招き実用的でない。より好ましくは 30° 以上傾いた部分を5～40%、更に好ましくは10～40%含有することがよい。

【0029】

なお、残りの磁石体積部位、即ち50～98%、より好ましくは60～95%の磁石体積の部分は、ラジアル方向乃至ラジアル方向に対する傾きが 30° 未満であるように配向せしめられているものである。

【0030】

図1は、円筒磁石の成形時、磁場中配向を行うための水平磁場垂直成形装置の説明図であり、特にモータ用磁石の水平磁場垂直成形装置である。ここで、(図2の場合と同様)1は成形機架台、2は配向磁場コイル、3はダイスを示し、また5aはコアを示す。6は上パンチ、7は下パンチ、8は充填磁石粉であり、また9はポールピースを示す。

【0031】

本発明においては、上記コア5aの少なくとも一部、好ましくは全体を飽和磁束密度5kG以上、好ましくは5～24kG、更に好ましくは10～24kGの強磁性体にて形成する。かかるコア材質としては、Fe系材料、Co系材料及びそれらの合金材料等の素材を用いた強磁性体が挙げられる。

【0032】

このように、飽和磁束密度5kG以上有する強磁性体をコアに使用すると、磁石粉に配向磁界を印加する場合、磁束は強磁性体に垂直に入ろうとするためラジアルに近い磁力線を描く。従って、図3aに示されるように、磁石粉充填部の磁界方向をラジアル配向に近づけることができる。これに対し、従来はコア5b全体を非磁性又は磁石粉と同等の飽和磁束密度を有した材料を用いており、この場合、磁力線は図3bに示したように、互いに平行で、図において中央付近はラジアル方向であるが、上側及び下側に向うにつれてコイルによる配向磁場方向となる。コアを強磁性体で形成してもコアの飽和磁束密度が5kG未満の場合、コアは容易に飽和してしまい、強磁性コアを用いたにもかかわらず、磁場は図3bに近い状態となる。加えて、5kG未満では充填磁石粉の飽和密度(磁石の飽和磁束密度×充填率)と等しくなり、充填磁石粉及び強磁性コア内での磁束の方向はコイルの磁界方向に等しくなってしまう。

【0033】

また、コアの一部に5kG以上の強磁性体を用いた際も上記と同様な効果が得られ有効であるが、全体が強磁性体であることが好ましい。一部(中央部)が強磁性体及び外周部が弱い強磁性体(WC-Ni-Co系)である一例を図4に示す。図4において、5a'は弱い強磁性体超硬合金部、11はパーマジェネラルを示す。

【0034】

上記方法によると、円筒磁石内の径方向でのラジアル配向に対する乱れは、配向磁場方向に垂直な部分のみの配向の乱れとなるため、着磁後、各極の磁束量減少はわずかに抑えることができ、モータのトルクむら及びトルク劣化のないモータ用円筒磁石を製造することができる。

【0035】

また、上記のように成形を行う際、水平磁場垂直成形装置で発生する磁場は0.5～1.2kOeであることが好ましい。このように水平磁場垂直成形装置で発生する磁場を定めた理由としては、磁場が大きい場合、図3aのコア5aが飽和してしまい、図3bに近い状態になり、円筒磁石の磁場垂直方向での配向がラジアル配向とはならなくなるため、磁場は1.2kOe以下が好ましい。強磁性コアを用いると磁束がコアに集中するため、コア周辺ではコイルによる磁場より大きな磁場が得られる。しかし、磁場があまり小さいと、コア周辺においても配向に十分な磁場が得られなくなるため、0.5kOe以上が好ましい。前述のように強磁性体周辺では磁束が集まり、磁場が大きくなるため、ここでいう水平磁場垂直成形装置で発生する磁場とは、強磁性体から十分に離れた場所における磁場又は強磁性コアを取り除いて測定したときの磁場の値を意味する。従って、更に好ましくは1～1.0kOeであることがよい。

【0036】

更に、本発明においては、図2に示したような垂直磁場垂直成形装置において、円筒磁石用成形金型のダイス材に非磁性体をトータル角度20°以上180°以下、特に30°～120°の領域に亘り少なくとも1つ以上配することが好ましい。

【0037】

図5は垂直磁場垂直成形装置におけるラジアル円筒磁石用成形金型のダイス材に非磁性体

(例えば非磁性超硬材等) 10を、角度 $\theta = 30^\circ$ の領域(ダイス円筒 360° のうち 30° にあたる領域)で対称に2個配した垂直磁場垂直成形装置を示す。なお、非磁性体近傍の磁力線は強磁性体に向かつて曲げられる。特に非磁性体と強磁性体の境に存在する強磁性体エッジの方向に曲げられる。磁石粉は曲げられた磁力線の方に配向するため、求める磁石が得られる。このときの非磁性体配置角度が 2.0° 未満であると磁力線が曲げられる効果が小さく、加えて配向方向が径方向に対し 30° 以上傾いた領域が少なくなり、割れを抑える効果が小さい。また、 11.80° より大きい場合はラジアル配向が阻害され、目的にたる磁石とはならない。

この場合、図5において、1は成形機架台、3はダイス、4はコア、8は充填磁石粉であることは、図2の場合と同様である。また、ダイス3における上記非磁性体10以外の材質は、 5 kG 以上の強磁性体にて形成することができる。更に、コア材は 10 kG 以上の強磁性体にて形成することができる。

【0038】ところで、金型のコア5aの少なくとも一部、好ましくは全体を飽和磁束密度 5 kG 以上の強磁性体で形成し、上記のように水平磁場垂直成形を行う場合、なお、この方法では、コイルによる配向磁場方向に対し 90° である方向では、ラジアル配向とならない場合がある。磁場中に強磁性体がある場合、磁束は強磁性体に垂直に入ろうとし強磁性体へ引き寄せられるため、強磁性体の磁場方向面では磁束密度が上昇し、垂直方向では磁束密度が低下する。このため、金型内に強磁性コアを配した場合、充填磁石粉において強磁性コアの磁場方向部では強い磁場により良好な配向が得られ、垂直方向部ではあまり配向しない。これを補うために磁石粉をコイルによる発生磁場に対し相対的に回転させ、不完全配向部を磁場方向の強い磁場部で再度配向することで良好な磁石が得られる。

【0039】

ここで、磁石粉をコイルによる発生磁場に対し相対的に回転させる方法としては、下記(1)～(v)のいずれかを行う。

- (1) 磁場印加中に磁石粉を金型周方向に所定角度回転させる、
- (11) 磁場印加後、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させ、その後再び磁場を印加する、

- (1.1) 磁場印加中、磁場発生コイルを磁石粉に対し金型周方向に所定角度回転させる、

- (11.1) 磁場印加後、磁場発生コイルを磁石粉に対し金型周方向に所定角度回転させ、その後再び磁場を印加する、

- (v) 磁場発生コイルを2対以上配置し、1対のコイルが磁場を印加した後、別のコイル対が磁場を印加する。この場合、1対のコイルが磁場を印加する操作を一回又は繰り返して複数回行うものである。

【0040】なお、充填磁石粉の回転については、図6で示すように磁石粉をコイルによる発生磁場方向に対し、相対的に回転できれば、コイル2、コア5a、ダイス3、パンチ6、7のいずれかを回転させてもよい。このうち特に、磁場印加後、充填磁石粉を回転させる際、強磁性コア又は磁石粉の残留磁化を 500 G 以上、特に 2000 G 以上存在させておけば、磁石粉も回転させることができる。強磁性コアとの間に磁氣的な吸引力が発生するため、強磁性コアを回転させるだけで磁石粉も回転させることができる。

【0041】回転角度については適宜選定されるが、当初の位置を 0° とした場合、好ましくは $10^\circ \sim 170^\circ$ 、特に $60^\circ \sim 120^\circ$ の範囲、典型的には 90° 前後で、磁場印加中に回転させる場合は、徐々に所定角度回転させ、磁場印加後に回転させる場合は、所定角度回転させた後に再度磁場を印加するものである。

【0042】

本発明は、上記のように成形するものであるが、それ以外は通常の垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して、一般的な成形圧 $0.5 \sim 2.0\text{ t/cm}^2$ で成形し、更に焼結

、時効処理、加工処理等を施し、焼結磁石を得ることができる。

【0043】
なお、磁石粉としては、特に制限されるものではなく、Nd-Fe-B系の円筒磁石を製造する場合に好適であるほか、フェライト磁石、Sm-Co系希土類磁石、各種ボンド磁石等の製造においても有効であるが、いずれも平均粒径 $0.1 \sim 100 \mu\text{m}$ 、特に $0.3 \sim 50 \mu\text{m}$ の合金粉を用いて成形するものである。

【0044】
本発明においては、このようにして得られた円筒磁石に対し、その外周面を多極着磁する。ここで、図7は、着磁機22を用いて円筒磁石21の着磁を行う様子を示している。なお、符号23は着磁機磁極歯であり、符号24は着磁機コイルである。

【0045】
本発明による水平磁場垂直成形にて製造されるラジアルライクな径方向配向円筒磁石を図7の着磁機にて6極着磁を行った際の表面磁束密度を図11に示す。また、図12は従来の製法で作られた径方向配向円筒磁石に図7の着磁機により6極着磁を行った際の表面磁束密度図である。従来の水平磁場垂直成形法により径方向配向円筒磁石を作製し、配向磁場方向がN、S極となるように6極着磁を行うと、配向方向のA、Dでは表面磁束密度が大きく、配向方向と 90° の角度をなす方向に近いB、C、E、Fの配向方向では小さな表面磁束密度となる。そればかりか、同じ角度幅を持つ着磁機具を用いて着磁を行ったにもかかわらず、着磁幅は方向により大きく異なる。これに対し、本発明品ではB、C、E、Fのピーク値において上昇がみられ、表面磁束が0となるところでの着磁幅もほぼ一定となる。しかし、表面磁化がピークの位置でA、Dに比べB、C、E、Fはとがった形状となっている。磁束量はピーク面積が大きいほど大きいので、A、Dに比べB、C、E、Fは小さくなってしまふ。各極間における磁束量のばらつきはモータに組み込まれた際の回転むらになり、振動、騒音の原因となる。従つて、この各極間の磁束量のばらつきを低減することで、むらの無いスムーズな回転が行える。

【0046】
図10は、9個のステータ歯（ステータテース）を有する3相モータの平面図を示したものである。3相モータ30は α 、 β 、 γ のステータ歯31が α 、 β 、 γ の順に配列し、その配線がステータ歯をコイル状に巻きながらつながり、U、V、W相としてモータの入力線となる。このU、V、W相に電流を流してコイル32に磁場を発生させ、コイルによる磁場と円筒磁石21との間に働く斥力及び引力によりモータは回転する。U-V、V-W、W-Uはそれぞれ総ステータ歯数の $1/3$ の数の歯を跨っており、U-Vに電流が流れるとステータコアの α より磁場が発生せられ、同様にV-Wにより β 、W-Uにより γ にそれぞれ磁場が発生する。図10は、このような歯数9個のステータを有する3相モータに、6極に着磁を行った径方向配向円筒磁石21を組み込んだものである。なお、図中33はモータロータ軸である。

【0047】
図中において、U-V (α) が磁石の極の中心に位置し、モータトルクのピークとなる。この際、U-V (α) と作用し、回転力を生じる極はA、C、E極であり、A極は配向磁場方向極であり、磁束量が大きく、C及びEは配向磁場方向とはずれた角度に位置する極であり、磁束量は小さい。次に、磁石が回転し、U-V (α) にD、F、B極が近づく。D極は配向磁場方向の極であり、磁束量が大きく、F及びBは配向磁場方向とはずれた角度に位置する極であり、磁束量は小さい。しかし、磁石極数6の $3/2$ 倍の9個の歯を有するがために、U-V (α) のコイルに鎖交する磁束量はA、C、E極分合わせたものとD、F、B極分合わせたものでは常に等しくなる。この関係はV-W (β)、W-U (γ) においても同様である。この場合、円筒磁石における着磁極数が k (k は4以上の正の偶数) 個のとき、この円筒磁石と組み合わせるステータの歯数が $3k \cdot j / 2$ (j は1以上の正の整数) 個であることがよく、特に上記のように、磁石の極とモータのステータの歯数の組み合わせを磁石極数 $k=6$ 、歯数 $3k \cdot j / 2=9$ ($k=6$ 、 $j=1$) の組み合わせとすることで、磁石に配向磁場方向の極と配向磁場方向からずれた極が存在し、磁束

盤にばらつきがある円筒磁石においても、磁束ばらつきが緩和され、回転むらのないモータを得ることができる。なお、 k は好ましくは 50 以下、更に好ましくは 40 以下の偶数であり、 j は好ましくは 10 以下、更に好ましくは 5 以下の整数である。極数 k が多くなりすぎると、1 極の幅が小さくなり、配向磁場方向に垂直方向では極が明確にならない場合がある。

【0048】

このうち磁石極数 $2n$ (n は 2 以上 50 以下の正の整数) に対し、ステータ歯数を $3m$ (m は 2 以上 30 以下の正の整数) とした際に、常に上記関係が維持され、回転むらのないモータを得ることができる。但し、 $2n \neq 3m$ である。特に、径方向配向円筒磁石に多極着磁を行い、ステータ歯数を着磁極数の $3/2$ 倍としたものは、特に回転むらのない優れたモータ特性を有するモータを生産できる。

【0049】

本発明に係る円筒磁石に多極着磁を行ったものは、ラジアル異方性リング磁石に多極着磁を行った場合に比べ、極間付近の着磁性及び磁気特性が低いので磁束密度の極間部の変化が滑らかであり、モータのコギングトルクは小さいが、スキュー着磁又はステータ歯にスキューを施すことで、更にコギングトルクを低減することができる。円筒磁石及びステータ歯のスキュー角度が、円筒磁石 1 極分の角度の $1/10$ 未満であるとスキュー着磁によるコギングトルク低下の効果が小さく、円筒磁石 1 極分の角度の $2/3$ より大きいとモータのトルクの低下が大きくなるため、スキュー角度は円筒磁石 1 極分の角度の $1/10 \sim 2/3$ の角度が好ましく、特に $1/10 \sim 2/5$ の角度が好ましい。

なお、本発明の永久磁石モータは、上記した構成とする以外は、公知の構成として製造し得る。

【0050】

この場合、図 7 は円筒磁石の配向方向を図 8 に対し 90° 回転させて着磁を行ったものであるが、図 9 に示されるように、円筒磁石の N 極と S 極の境界がラジアル方向に対し $\pm 30^\circ$ 以上傾いた方向に配向した部位の中央部 40 に対し、 $\pm 10^\circ$ 以内にあることが好ましい。そして、このように設定した N 極と S 極との境界から周方向に互いに等間隔ずつ離開して N 極と S 極との境界を設けるように、周方向に多極に着磁することが好ましい。一方、図 8 による着磁に比べ、図 7 による着磁は、ラジアル方向がらずれた部位を 4 極 (片側 2 極ずつ) で分担するため、コギングが少なく、トルクが上昇する。

【0051】

また、図 8 は、円筒磁石の配向方向を図 7 に対して 90° 回転させて着磁を行う様子を示す着磁模式図である。図 7 に対して配向方向を 90° 回転させて 6 極着磁を行った図 8 に示されるものは、配向磁場方向付近の B、C、E、F 極からは比較的大きな磁束量が得られ、A、D 極の配向方向に垂直な方向の部分では磁束量は小さくなる。図 7 及び 8 にて着磁した磁石を 2 段積みして 90° ずらして着磁してモータ用ロータ磁石とすると、図 7 で着磁した大きな磁束量の A、D が図 8 で着磁した場合は少ない磁束量となるため、合わせると図 7 での着磁ではやや小さな磁束量であるが、図 8 での着磁では比較的大きな磁束量が得られる B、C、E、F 極とほぼ同じ磁束量となる。このため、各極間の磁束量のばらつきを低減することで、むらの無いスムーズな回転が行える。

【0052】

同様に、水平磁場垂直成形装置にて製造されるラジアルライクな配向を有する円筒磁石を輪切りして円筒軸方向に 2 等分割し、一方に対しもう片方を徐々に回転させて段積みを行い、はじめは図 7 の配置で着磁されるが、徐々に向きが変わり、 90° 回転後は図 8 の配置での着磁となる。これを次々に 90° まで回転させて段積みし、その後着磁をしていくと、A、D 極では回転角が増えるにつれ徐々に総磁束量が減少し、B、C、E、F 極では総磁束量は増加する。

【0053】

このように該成形機にて製造されるラジアルライクな径方向配向円筒磁石を、軸方向に 2 段以上積み重ねて多極着磁を行うことにより、各極間の磁束量のばらつきを低減すること

ができ、モータとして用いた際のトルクむらを抑えることができる。なお、積層数の上限は特に制限はないが、1.0段程度が好ましい。

【0054】分割した磁石の配向方向を相対的に所定の角度回転させて多段（2段以上）積みして多極着磁することにより、配向方向とこれに垂直な方向との磁束量のばらつきを均一化し、極間の磁束量のばらつきを低減させることができる。このとき、積み重ねる各磁石の配向方向を $180/i^\circ$ （ i は積み重ね数）だけ角度をずらして積み重ね、多極着磁を行うことが好ましい。

【0055】また、分割数は配向方向を各極に均一に分布させるために、 $i = n/2$ 段（ n は極数）とすることで、配向方向の磁束量の多い部分と、これに垂直な方向で磁束量の少ない部分とをそれぞれ各極に均一に分布でき、これを $180/i^\circ$ だけ角度をずらして積み重ね、多極着磁することで各極の総磁束量を等しくすることができる。

【0056】なお、 n は 4～50 の正の整数で、 n が多くなると着磁極間が狭くなり、十分な着磁が困難となるので、 n は特に 4～30 が好ましい。

【0057】また、 i は 2～10 の正の整数で、 i が大きく積み重ね数が多くなると、コストが高くなるので、特に 2～6 が好ましい。

【0058】水平磁場垂直成形装置により一方向異方性を有する円筒磁石に多極着磁を行ったものは、ラジアル異方性リング磁石に多極着磁を行った場合に比べ、極間付近の着磁性及び磁気特性が低いので磁束密度の極間部の変化が滑らかであり、モータのコギングトルクは小さい。なお、磁石をスキュー着磁するが、ステータ歯にスキューを施すことで更にコギングトルクを低減することができる。

【0059】スキュー角度は、磁石ステータともに磁石1極分（ $360/n^\circ$ ）の角度の $1/10$ 以下であるとし、スキュー着磁によるコギングトルク低下の効果が小さく、 $2/3$ より大きいと、モータのトルクの低下が大きくなるため、スキュー角は、磁石1極分の角度の $1/10 \sim 2/3$ の角度が好ましい。

【0060】本発明の永久磁石式モータは、例えば図110に示したように、モータ、特に複数個のステータ歯を有するモータにロータとして上記の多段長尺多極着磁円筒磁石ロータを組み込めばよく、図110の場合、該ステータ歯を有するモータの構成は公知のものとすることができる。

【0061】**【発明の効果】**

本発明のラジアル異方性焼結磁石は、内外径比の小さな形状においても焼結及び時効冷却時の割れ、クラックのない優れた磁石特性を有する。

【0062】**【実施例】**

以下、実施例及び比較例を示し、本発明を具体的に説明するが、本発明は下記の実施例に制限されるものではない。

【0063】**【実施例1】**

それぞれ純度 99.7 重量%の Nd、Dy、Fe、Co、M（Mは Al、Si、Cu）と純度 99.5 重量%の B を用い、 $Nd_{2.9}Dy_{2.1}Fe_{64}Co_{31}B_{10}Al_{0.2}Cu_{0.1}Si_{10}H_{12}$ の合金を真空溶解炉で溶解鑄造してインゴットを作製した。このインゴットをジョウクラッシャー及びブラウンミルで粗粉砕し、更に窒素気流中ジェットミル粉砕により平均粒径 $3.5 \mu m$ の微粉末を得た。この粉末を飽和磁束密度 20 kG の強磁性

体（S 50 C 鋼）コアを配置した水平磁場垂直成形装置にて8 k O e の磁場中において0.5 t / c m² の成形圧にて成形した。このとき、磁石粉の充填密度は25%であった。この成形体はA r ガス中1090℃で1時間焼結を行い、引き続き580℃で1時間の時効熱処理を行った。その後加工を行い、φ30 m m × φ25 m m × L30 m m の円筒磁石を得た。上記円筒磁石を図7の着磁機にて6極着磁し、着磁後の磁石を磁石と同一高さの図10に示す構成のステータ内に組み込んだモータを作製した。磁石内径にはモータ軸となる強磁性コアが挿入接着されている。銅細線を各歯それぞれ15.0ターン巻きとした。モータを1000 r p m で回転させた際の誘起電圧及び同モータを1～5 r p m で回転させた際の荷重計によるトルクリップルの大きさを測定した。

【0064】3歯の歯の歯先が、図10に示す構成のステータ内に組み込まれたモータのモータ軸となる強磁性コアに挿入接着されている。銅細線を各歯それぞれ15.0ターン巻きとした。モータを1000 r p m で回転させた際の誘起電圧及び同モータを1～5 r p m で回転させた際の荷重計によるトルクリップルの大きさを測定した。10

【実施例2】図8の着磁配置により着磁した以外は実施例1と同様にして得た磁石を同様にモータに組み込んだ際の誘起電圧とトルクリップルの大きさを測定した。結果を表1に示す。

【表1】

| 実施例番号 | 誘起電圧 [V] | トルクリップル [Nm] |
|---------------|-------------|-----------------|
| 実施例1(図7の着磁配置) | 47 | 0.076 |
| 実施例2(図8の着磁配置) | 43 | 0.182 |

【0065】図8に示す構成のステータ内に組み込んだモータのモータ軸となる強磁性コアに挿入接着されている。銅細線を各歯それぞれ15.0ターン巻きとした。モータを1000 r p m で回転させた際の誘起電圧及び同モータを1～5 r p m で回転させた際の荷重計によるトルクリップルの大きさを測定した。20

【実施例3】図9に示す構成のステータ内に組み込んだモータのモータ軸となる強磁性コアに挿入接着されている。銅細線を各歯それぞれ15.0ターン巻きとした。モータを1000 r p m で回転させた際の誘起電圧及び同モータを1～5 r p m で回転させた際の荷重計によるトルクリップルの大きさを測定した。20

【0066】図9に示す構成のステータ内に組み込んだモータのモータ軸となる強磁性コアに挿入接着されている。銅細線を各歯それぞれ15.0ターン巻きとした。モータを1000 r p m で回転させた際の誘起電圧及び同モータを1～5 r p m で回転させた際の荷重計によるトルクリップルの大きさを測定した。20

【実施例4】図10に示す構成のステータ内に組み込んだモータのモータ軸となる強磁性コアに挿入接着されている。銅細線を各歯それぞれ15.0ターン巻きとした。モータを1000 r p m で回転させた際の誘起電圧及び同モータを1～5 r p m で回転させた際の荷重計によるトルクリップルの大きさを測定した。20

【0067】図10に示す構成のステータ内に組み込んだモータのモータ軸となる強磁性コアに挿入接着されている。銅細線を各歯それぞれ15.0ターン巻きとした。モータを1000 r p m で回転させた際の誘起電圧及び同モータを1～5 r p m で回転させた際の荷重計によるトルクリップルの大きさを測定した。30

【比較例1】図10に示す構成のステータ内に組み込んだモータのモータ軸となる強磁性コアに挿入接着されている。銅細線を各歯それぞれ15.0ターン巻きとした。モータを1000 r p m で回転させた際の誘起電圧及び同モータを1～5 r p m で回転させた際の荷重計によるトルクリップルの大きさを測定した。30

実施例1と同様の磁石粉を用い、図2に示される垂直磁場垂直成形装置を用い、コイルの発生磁界20 k O e で磁石粉充填深さ30 m m とし、磁場中成形後の成形体を下方に移動させ、成形体の上に先ほどと同様に30 m m 磁石粉を乗せ、磁場中成形後の磁石を実施例1と同様の条件で焼結時効を行い、φ30 m m × φ25 m m × L30 m m の円筒磁石を得た。これをモータに組み込みモータ特性を測定した。

【0068】図2に示される垂直磁場垂直成形装置を用い、コイルの発生磁界20 k O e で磁石粉充填深さ30 m m とし、磁場中成形後の成形体を下方に移動させ、成形体の上に先ほどと同様に30 m m 磁石粉を乗せ、磁場中成形後の磁石を実施例1と同様の条件で焼結時効を行い、φ30 m m × φ25 m m × L30 m m の円筒磁石を得た。これをモータに組み込みモータ特性を測定した。30

【比較例2】図2に示される垂直磁場垂直成形装置を用い、コイルの発生磁界20 k O e で磁石粉充填深さ30 m m とし、磁場中成形後の成形体を下方に移動させ、成形体の上に先ほどと同様に30 m m 磁石粉を乗せ、磁場中成形後の磁石を実施例1と同様の条件で焼結時効を行い、φ30 m m × φ25 m m × L30 m m の円筒磁石を得た。これをモータに組み込みモータ特性を測定した。40

【0069】図2に示される垂直磁場垂直成形装置を用い、コイルの発生磁界20 k O e で磁石粉充填深さ30 m m とし、磁場中成形後の成形体を下方に移動させ、成形体の上に先ほどと同様に30 m m 磁石粉を乗せ、磁場中成形後の磁石を実施例1と同様の条件で焼結時効を行い、φ30 m m × φ25 m m × L30 m m の円筒磁石を得た。これをモータに組み込みモータ特性を測定した。40

【比較例3】図2に示される垂直磁場垂直成形装置を用い、コイルの発生磁界20 k O e で磁石粉充填深さ30 m m とし、磁場中成形後の成形体を下方に移動させ、成形体の上に先ほどと同様に30 m m 磁石粉を乗せ、磁場中成形後の磁石を実施例1と同様の条件で焼結時効を行い、φ30 m m × φ25 m m × L30 m m の円筒磁石を得た。これをモータに組み込みモータ特性を測定した。40

【0070】図2に示される垂直磁場垂直成形装置を用い、コイルの発生磁界20 k O e で磁石粉充填深さ30 m m とし、磁場中成形後の成形体を下方に移動させ、成形体の上に先ほどと同様に30 m m 磁石粉を乗せ、磁場中成形後の磁石を実施例1と同様の条件で焼結時効を行い、φ30 m m × φ25 m m × L30 m m の円筒磁石を得た。これをモータに組み込みモータ特性を測定した。40

【実施例5】図5に示すように、非磁性体（非磁性超硬材W C - N i - C o）をダイス内角度30°の部分で2個対称になるように配置し（トータル60°）、その他は比較例1と同様な条件で磁石を作製し、同様にモータ特性を測定した。

【0071】図5に示すように、非磁性体（非磁性超硬材W C - N i - C o）をダイス内角度30°の部分で2個対称になるように配置し（トータル60°）、その他は比較例1と同様な条件で磁石を作製し、同様にモータ特性を測定した。50

偏光顕微鏡観察により、ラジアル配向に対し、 30° 以上傾いた部分の体積（配向乱れ体積）を算出し、表2に示す。また、これらの円筒磁石をそれぞれの条件で100個製造した際の割れの数もあわせて記載する。

【0072】

【表2】

| | 誘起電圧 [V] | トルクリップル [Nm] | 30° 以上の乱れ [体積%] | 割れ発生数 個/100個 |
|------|-------------|-----------------|---------------------------|-----------------|
| 実施例1 | 47 | 0.076 | 37 | 0 |
| 実施例3 | 44 | 0.069 | 42 | 0 |
| 実施例4 | 52 | 0.082 | 30 | 0 |
| 実施例5 | 43 | 0.06 | 17 | 2 |
| 比較例1 | 50 | 0.077 | 2 | 82 |
| 比較例2 | 35 | 0.053 | 66 | 0 |
| 比較例3 | 37 | 0.064 | 58 | 0 |

【0073】表2より、実施例は大きな起電力が得られ、かつトルクリップルが小さく、クラックの発生がないためモータ用磁石として優れた特性を有する磁石の量産化に有効である。

【0074】

また、実施例4の条件で作製した磁石を偏光顕微鏡観察した結果を図13、14、15に示す。即ち、図13、14、15は強磁性材をコアとして用いた水平磁場垂直成形装置により作製された磁石において、配向磁場方向に対し、 30° 方向、 60° 方向、 90° 方向での磁石の配向の様子を示したもので、これらからわかるように本発明による円筒磁石30では、配向磁場方向に対し 60° 方向で初めてラジアル方向とのずれが 30° となり、これより30体積%で 30° 以上ずれていることがわかる。

【0075】

【実施例6～9、参考例1】

それぞれ純度99.7重量%のNd、Dy、Fe、Co、M（MはAl、Si、Cu）と純度99.5重量%のBを用い、 $\text{Nd}_{2.9}\text{Dy}_{2.1}\text{Fe}_{6.3}\text{Co}_{3.8}\text{B}_1\text{Al}_{0.3}\text{Si}_{0.3}\text{Cu}_{0.1}$ の合金を真空溶解炉で溶解鑄造してインゴットを作製した。このインゴットをジョウクラッシャー及びブラウンミルで粗粉碎し、更に窒素気流中ジェットミル粉碎により平均粒径 $3.5\mu\text{m}$ の微粉末を得た。この粉末を図1に示すような飽和磁束密度20kGの鉄製の強磁性体コアを配向した水平磁場垂直成形装置にて、コイルの発生磁場4kOeの磁場中において配向させた後、実施例6として、コイルを 90° 回転させ、次いで同様に4kOeの磁場中において再び配向させ、 $1.0\text{t}/\text{cm}^2$ の成形圧にて成形した。

【0076】

実施例7としては、水平磁場垂直成形装置にてコイルの発生磁場4kOeの磁場中において配向させた後、ダイスとコア及びパンチを 90° 回転させ、次いで同様に4kOeの磁場中において再び配向させ、 $1.0\text{t}/\text{cm}^2$ の成形圧にて成形した以外は実施例6と同様に成形した。

【0077】

実施例8としては、水平磁場垂直成形装置にてコイルの発生磁場4kOeの磁場中において

て配向させた後、残留磁化 4 k G のコアを 90° 回転させた。このときの磁石粉の残留磁化は 800 G であった。次いで同様に 4 k O e の磁場中において再び配向させ、その後、 1.0 t/cm^2 の成形圧にて成形した以外は実施例 6 と同様に成形した。

【0078】

これらの成形体は Ar ガス中 1090℃ で 1 時間焼結を行い、引き続き 580℃ で 1 時間の時効熱処理を行った。その後、加工を行い、 $\phi 24 \text{ mm} \times \phi 19 \text{ mm} \times L 30 \text{ mm}$ の円筒磁石を得た。なお、本円筒磁石と同一磁石粉を用い、水平磁場垂直成形装置にて 12 k O e の磁場中において、 1.0 t/cm^2 の成形圧にて成形し、Ar ガス中 1090℃ で 1 時間焼結を行い、引き続き 580℃ で 1 時間の熱処理をして本円筒磁石と同一条件で作製したブロック磁石の特性は、 $B_r: 12.5 \text{ k G}$ 、 $i H_c: 15 \text{ k O e}$ 、 $(B \cdot H)_{\text{max}}: 10:36 \text{ M G O e}$ であった。上記の円筒磁石を、図 7 に示す着磁機にて 6 極、20° でスキュー着磁し、着磁後の磁石を磁石と同一高さの図 10 に示す構成のステータ内に組み込んだモータを作製した。また、上記実施例のモータを 5000 rpm で回転させた際の誘起電圧及び同モータを 5 rpm で回転させた際の荷重計によるトルクリップルの大きさを測定した。更に、上記と同様に成形、焼結、熱処理して得た円筒磁石を図 8 の着磁機にて着磁し、モータに組み込んで、誘起電圧及びトルクリップルを測定した（実施例 8 a）。表 3 に誘起電圧の絶対値の最大及びトルクリップルの最大最小の差を示す。

【0079】

実施例 9 として、実施例 6 と同じ水平磁場垂直成形装置を用い、12 k O e の磁場中において 90° 回転させながら配向を行い、 1.0 t/cm^2 の成形圧にて成形した。他は実施例 6 と同様にして作製した磁石を用いたモータのモータ特性を測定した。

【0080】

一方、参考例 1 として、実施例 6 において 4 k O e の磁場で配向させた際、回転させずそのまま磁界中 1.0 t/cm^2 の成形圧にて成形した。他は実施例 6 と同様にして作製した磁石を用いたモータのモータ特性を測定した。これらの結果を表 3 に示す。

【0081】

【表 3】

| | 誘起電圧(実効値) [mV/rpm] | トルクリップル [Nm] |
|--------|-----------------------|-----------------|
| 実施例 6 | 18.7 | 8.7 |
| 実施例 7 | 18.6 | 8.7 |
| 実施例 8 | 18.7 | 8.7 |
| 実施例 8a | 16.2 | 10.3 |
| 実施例 9 | 18.4 | 12.8 |
| 参考例 1 | 14.1 | 7.8 |

【0082】

表 3 より、参考例に対し実施例ではトルクに相応する誘起電圧が大きく改善されており、本発明がモータ用磁石の製造方法として優れた方法であることがわかる。

【0083】

なお、実施例 6 の着磁後のロータ磁石の表面磁束を測定した結果は図 11 と同様の結果で、各極が均一化しており、かつ極の面積が大きくなっており、実施例は大きな磁場が均一に発生できることがわかる。

【0084】

【実施例10】

それぞれ純度99.7重量%のNd、Dy、Fe、Co、M（MはAl、Si、Cu）と、純度99.5重量%のBを用い、 $\text{Nd}_{2.9}\text{Dy}_{2.5}\text{Fe}_{6.4}\text{Co}_{3.1}\text{B}_{1.0}\text{Al}_{0.2}\text{Si}_{0.2}\text{Cu}_{0.1}$ の合金を真空溶解炉で溶解鋳造してインゴットを作製した。このインゴットをジョウクラッシュヤー及びブラウンミルで粗粉碎し、更に窒素気流中ジェットミル粉碎により平均粒径3-5 μm の微粉末を得た。この粉末を飽和磁束密度20kGのFe製の強磁性体コアを配置した図1に示す水平磁場垂直成形装置にて10kOeの磁場中において1.0t/cm²の成形圧にて成形した。この成形体はArガス中1090℃で1時間焼結を行い、引き続き580℃で1時間の熱処理を行った。その後加工を行い、 $\phi 30\text{mm} \times \phi 25\text{mm} \times L 30\text{mm}$ の円筒磁石を得た。本円筒磁石と同一磁石粉を用い、水平磁場垂直成形装置にて10kOeの磁場中において1.0t/cm²の成形圧にて成形し、Arガス中1090℃で1時間焼結を行い、引き続き580℃で1時間の熱処理をして、本円筒磁石と同一条件で作製したブロック磁石の特性は、 $B_r: 13.0\text{kG}$ 、 $1\text{Hc}: 15\text{kOe}$ 、 $(B \cdot H)_{\text{max}}: 40\text{MGOe}$ であった。

【0085】

上記の径方向配向円筒磁石を、着磁機にて6極着磁し、着磁後の磁石を磁石と同一高さの図10に示す構成の9個のステータ内に組み込んだモータを作製した。磁石内径にはモータ軸となる強磁性コアが挿入接着されている。銅細線を各歯それぞれ100ターン巻きとした。U-V相間の磁束量をフラックスメータを用いて測定した。

【0086】

【比較例4】

本ステータ歯のうちの一つだけに実施例10と同じ銅細線を100ターン巻き、磁束量をフラックスメータにて測定した。磁石を1周させたときのピーク値を表4に示す。表に示されるように、比較例ではピークによる磁束量が、どのピークに対し大きなピークでも1.5倍程度と非常に大きいにもかかわらず、実施例10ではピーク値がほとんど変わらない。

【0087】

【実施例11】

コア断面積の60%の面積を占める飽和磁束密度18kGの強磁性体をコア外周と同心円状に配置し、残りは非磁性体材で作製したコアを用い、その他は実施例10と同様にして作製したモータのU-V相間の磁束量を測定した。

【0088】

【比較例5】

非磁性体（非磁性超硬材WC-Ni-Co）をコア材に用いた他は実施例10と同様にして作製したモータのU-V相間の磁束量を測定した。

【0089】

【比較例6】

Fe製の強磁性体コアの飽和磁束密度を2kGとした他は実施例10と同様にして作製したモータのU-V相間の磁束量を測定した。配置した際のモータのU-V相間の磁束量をそれぞれフラックスメータを用いて測定した。

これらの結果を表4に示す。

【0090】

【表4】

| | ピーク1 [kMx] | ピーク2 [kMx] | ピーク3 [kMx] | ピーク4 [kMx] | ピーク5 [kMx] | ピーク6 [kMx] |
|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 実施例 10 | -38.2 | 38.3 | -38.5 | 38.7 | -38.6 | 38.4 |
| 実施例 11 | -36.9 | 36.7 | -36.5 | 36.9 | -37 | 36.7 |
| 比較例 4 | -41.2 | 27.5 | -26.8 | 40.8 | -27.1 | -26.7 |
| 比較例 5 | -30.5 | 30.2 | -30.4 | 30.6 | -30.2 | 30.3 |
| 比較例 6 | -31.8 | 31.7 | -31.9 | 31.9 | -31.5 | 32 |

【0091】

[実施例 1.2]

実施例 1.0 のモータを 1000 r.p.m で回転させた際の誘起電圧及び同モータを 1 ~ 50 r.p.m で回転させた際の荷重計によるトルクリップルの大きさを測定した。表 5 に誘起電圧の絶対値の最大及びトルクリップルの最大最小の差を示す。表 5 より、本モータは使用上十分な誘起電圧量を行し、十分小さなトルクリップルであることがわかる。

【0092】

[実施例 1.3]

実施例 1.0 の径方向配向円筒磁石を着磁する際、スキュー角度を磁石 1 極分の角度の 1/3 の 20° でスキュー着磁を行い、該磁石を実施例 1.0 のモータに組み込み、実施例 1.2 と同様に誘起電圧及びトルクリップルを測定した値を表 5 に示す。表 5 よりトルクリップルの量がスキュー無し品より更に小さく、誘起電圧の低下はわずかであることがわかる。

【0093】

[参考例 2]

実施例 1.0 の径方向配向円筒磁石を着磁する際、スキュー角度磁石 1 極分の角度の 5/6 の 50° でスキュー着磁を行い、該磁石を実施例 1.0 のモータに組み込み、実施例 1.2 と同様に誘起電圧及びトルクリップルを測定した値を表 5 に示す。表 5 よりトルクリップルの量はスキュー無し品より小さいが、誘起電圧の低下が大きく、実用に適さない場合があることがわかる。

【0094】

[実施例 1.4]

径方向配向円筒磁石を実施例 1.0 と同様に着磁し、スキュー角度が磁石 1 極分の角度の 1/3 の 20° であるステータ歯をもつ実施例 1.0 と同寸法のモータに組み込み、実施例 1.2 と同様に誘起電圧及びトルクリップルを測定した値を表 5 に示す。表 5 より、トルクリップルの量がスキュー無し品より更に小さく、誘起電圧の低下はわずかであることがわかる。

【0095】

[表 5]

| | 誘起電圧 [V] | トルクリップル [Nm] |
|--------|-------------|-----------------|
| 実施例 12 | 60 | 0.08 |
| 実施例 13 | 55 | 0.021 |
| 実施例 14 | 54 | 0.027 |
| 参考例 2 | 12 | 0.017 |

【0096】

[実施例 1.5]

それぞれ純度 99.7 重量%の Nd、Dy、Fe、Co、M (M は Al、Si、Cu) と純度 99.5 重量%の B を用い、 $\text{Nd}_{2.9}\text{Dy}_{2.5}\text{Fe}_{6.4}\text{Co}_3\text{B}_1\text{Al}_{0.2}\text{Si}_{0.2}\text{Cu}_{0.1}$ の合金を真空溶解炉で溶解鑄造し、インゴットを作製した。このインゴットをジョウクラッシャー及びブラウンミルで粗粉砕し、更に、窒素気流中でのジェット

ミル粉碎により平均粒径 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ の微粉末を得た。この粉末を飽和磁束密度 2.0 kG の Fe 製の強磁性体コアを配置した図 1 に示す如き水平磁場垂直成形装置にて 6 kOe の磁場中において $1 \sim 10 \text{ t/cm}^2$ の成形圧にて成形した。この成形体は、 Ar ガス中 1090°C で 1 時間焼結を行い、引き続き 580°C で 1 時間の熱処理を行った。その後、加工して外径 30 mm 、内径 25 mm 、厚さ 1.5 mm の円筒磁石を得た。

【0097】

実施例 15 は、作製した円筒磁石を、配向方向を 60° ずらしで積み重ね、1 段目の磁石配向方向が図 8 の関係（極 A が N 極となる）になるように配置し、6 極着磁 3 段積みを行った。

【0098】

【実施例 16】

実施例 16 は、ずらし角を 90° とし、実施例 15 と同様に 6 極着磁 2 段積みを行った。

【0099】

【参考例 3】

実施例 15 と同じ磁石粉末を用い、成形体高さを換え、段積みをしないうち以外は実施例 15 と同一条件で外径 30 mm 、内径 25 mm 、厚さ 3.0 mm の円筒磁石を作製し、6 極着磁を行った。

【0100】

【実施例 17】

実施例 15 と同じ磁石粉末を用い、同一条件で外径 30 mm 、内径 25 mm 、厚さ 1.0 mm の円筒磁石を作製し、配向方向を 60° ずらしで 3 段積み重ね、各段の円筒磁石の配向方向がそれぞれ図 7 の配置になるようにし、6 極着磁を行った。この様子を図 16 に示す。図中の大矢印は、円筒磁石の各段の配向時の磁場方向を示している。なお、符号 33 は、モータロータ軸である。

【0101】

これらの磁石を評価するために、横 $1.0 \sim 1.5 \text{ mm}$ 、縦 3.0 mm の四角形に銅細線を 5.0 ターン巻き、コイルを作製した。このコイルを円筒磁石に接した状態から磁石の磁力の影響を受けない遠方まで遠ざけ、この間のコイルを横切る磁束量を円筒磁石の外周方向にフラックスメータを用いて測定し、ピーク値を表 6 に示す。

【0102】

【表 6】

| | ピーク 1 [kMx] | ピーク 2 [kMx] | ピーク 3 [kMx] | ピーク 4 [kMx] | ピーク 5 [kMx] | ピーク 6 [kMx] |
|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 実施例 15 ずらし角 60° 3 段重ね | 10.17 | -11.03 | 13 | -10.15 | 11.1 | -13.12 |
| 実施例 16 ずらし角 90° 2 段重ね | 11.5 | -10.71 | 11.45 | -11.42 | 10.66 | -11.44 |
| 実施例 17 ずらし角 60° 3 段重ね | 12.01 | -11.95 | 11.96 | -12.04 | 11.99 | -11.98 |
| 参考例 3 段積みなし | 9.01 | -9.07 | 13.52 | -8.98 | 9.12 | -13.49 |

【0103】

【実施例 18、19、参考例 4、比較例 7】

図 10 は、9 個のモータステータ歯 31 を有する 3 相の永久磁石モータ 30 の平面図を示

したものである。着磁した円筒磁石をこの磁石と同一高さのステータ内に組み込んでモータを作製した。円筒磁石の内径部にはモータ軸となる強磁性コアが挿入接着されている。各ティースに銅細線をそれぞれ150ターン巻きした。このモータを1000r.p.mで回転させ、このときの誘起電圧の絶対値の最大で、かつ1~5r.p.mで回転させ、荷重計を用いてトルクリップルの大きさを測定した。

【0104】

ここで、実施例18は、実施例16と同様にずらし角9.0°で磁石を2段に重ね合わせ、スキュー角を磁石1極分の角度の1/3の2.0°でスキュー着磁を行い、この磁石をモータに組み込んだものである。

【0105】

実施例19は、実施例17と同じ寸法の円筒磁石を用い、図16に示すようにずらし角6.0°で磁石を3段に重ねてスキューなしに着磁し、スキュー角が磁石1極分の角度の1/3の2.0°であるスキューステータ歯を有するモータに組み込んだものである。

【0106】

また、段積みをしない円筒磁石を参考例4とし、また成形金型のコアを非磁性（非磁性超硬材W₂C-Ni-Cr）で作製して成形機に配置し、その他は実施例15と同様に磁石を作製し、これを実施例18と同様にしてモータに組み込み、比較例7とした。これらの誘起電圧、トルクリップルを測定し、誘起電圧とともにトルクリップルの最大最小の差を表7に示した。

【0107】表7から、各実施例は実用に十分耐える誘起電圧を有し、トルクリップルも十分小さいが、参考例4はトルクリップルが大きいことが認められる。比較例7は誘起電圧が低く、実用に適さない。

【0108】

【参考例5】

実施例18の径方向配向円筒磁石を着磁する際、スキュー角磁石1極分の角度の5/6の5.0°でスキュー着磁を行い、この磁石を図10のモータに組み込み、実施例18と同様にして誘起電圧及びトルクリップルを測定し、表7に示した。

【0109】

表7から、トルクリップルの量は小さいが、誘起電圧の低下が大きく実用に適さないことが認められる。

【0110】

【実施例20、参考例6】

実施例15のNd磁石合金を用いて、水平磁場垂直成形法により一軸配向のリング磁石を作製した。磁石寸法は外径25mm、内径20mm、厚さ1.5mmである。配向方向を6.0°ずつ変化させながら6段積み重ねて6極にストレート着磁し磁石ロータを作製した。これを7°のスキュー角のステータに組み込みモータにした。

【0111】

更に参考例6として、実施例20と同じ磁石を用いて配向方向を一方向にそろえ、6極にストレート着磁し磁石ロータを作製した。これを無スキューのステータに組み込みモータにした。これらにおいて誘起電圧とともにトルクリップルを測定した。

【0112】

その結果は、表7に示したとおりであり、実施例20では参考例6に比べてトルクリップルが大きく低下しており、本発明による磁石の配向方向分散の効果が顕著であることがわかる。

【0113】

【表7】

10

20

30

40

| | 誘起電圧 [V] | トルクリップル [Nm] |
|--------|-------------|-----------------|
| 実施例 18 | 92 | 0.028 |
| 実施例 19 | 100 | 0.021 |
| 実施例 20 | 156 | 0.08 |
| 参考例 4 | 92 | 0.135 |
| 比較例 7 | 50 | 0.024 |
| 参考例 5 | 13 | 0.015 |
| 参考例 6 | 145 | 0.432 |

【図面の簡単な説明】

【図 1】円筒磁石を製造する際に使用する水平磁場垂直成形装置の一実施例を示す説明図であり、(a) は平面図、(b) は縦断面図である。

【図 2】ラジアル異方性円筒磁石を製造する際に使用する従来の垂直磁場垂直成形装置を示す説明図であり、(a) は縦断面図、(b) は (a) 図における A-A' 線の断面図である。

【図 3】円筒磁石を製造する際に使用する水平磁場垂直成形装置で磁場発生時の磁力線の様子を模式的に示す説明図であり、(a) は本発明に係る成形装置の場合、(b) は従来の成形装置の場合である。

【図 4】円筒磁石を製造する際に使用する水平磁場垂直成形装置の他の実施例を示す説明図であり、(a) は平面図、(b) は縦断面図である。

【図 5】ラジアル異方性円筒磁石を製造する際に使用するダイス部に一部非磁性材を配置した垂直磁場垂直成形装置を示す説明図であり、(a) は図 2 (b) と同様の断面図、(b) は (a) 図における B1～B4 部の拡大図である。

【図 6】円筒磁石を製造する際に使用する成形装置で、回転式水平磁場垂直成形装置の一実施例を示す説明図である。

【図 7】着磁機を用いて円筒磁石の着磁を行う様子を示す着磁模式図である。

【図 8】着磁機を用いて円筒磁石の着磁を行う様子を示す着磁模式図で、円筒磁石の配向方向を図 7 に対して 90° 回転させて着磁を行う様子を示す。

【図 9】円筒磁石の N 極と S 極との境界を説明する平面図である。

【図 10】6 極に多極着磁した円筒磁石と 9 個のステータ歯を組み合わせた 3 相モータの平面図を示したものである。

【図 11】本発明に係る水平磁場垂直成形装置により作製した Nd-Fe-B 系円筒磁石に 6 極着磁を行った際の表面磁束密度を示した図である。

【図 12】従来の水平磁場垂直成形装置（コア材として非磁性材を使用）により作製した Nd-Fe-B 系円筒磁石に 6 極着磁を行った際の表面磁束密度を示した図である。

【図 13】円筒磁石を製造する際に使用する強磁性材をコアとして用いた水平磁場垂直成形装置により作製された磁石の配向磁場方向に対し、30° 方向での磁石の配向を示す顕微鏡写真である。

【図 14】円筒磁石を製造する際に使用する強磁性材をコアとして用いた水平磁場垂直成形装置により作製された磁石の配向磁場方向に対し、60° 方向での磁石の配向を示す顕微鏡写真である。

【図 15】円筒磁石を製造する際に使用する強磁性材をコアとして用いた水平磁場垂直成形装置により作製された磁石の配向磁場方向に対し、90° 方向での磁石の配向を示す顕微鏡写真である。

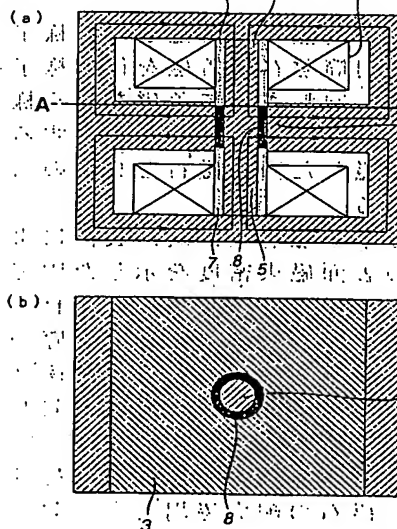
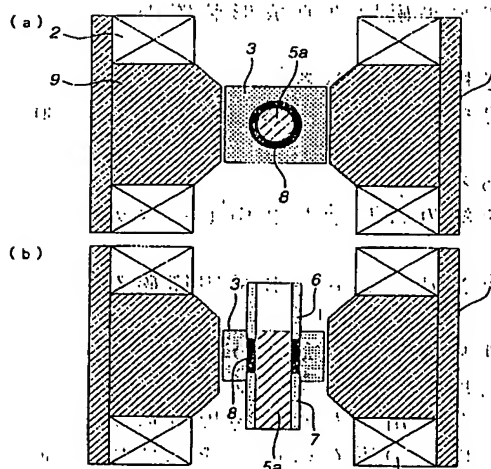
【図 16】径方向配向円筒磁石を各 60° ずらして 3 段に積層した本発明の永久磁石式モータ用ロータを示す斜視図である。

【符号の説明】

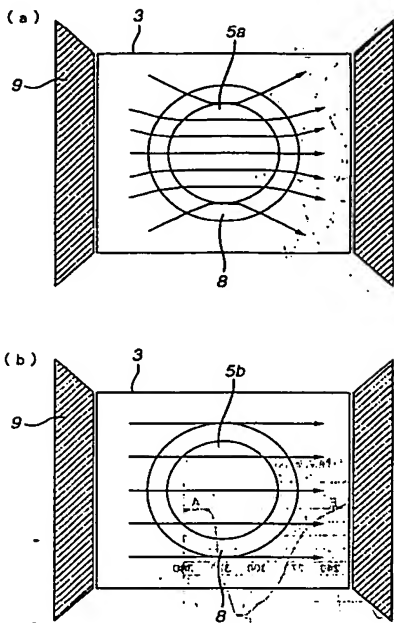
- 1 成形機架台
- 2 配向磁場コイル
- 3 ダイス
- 4 コア
- 5 コア
- 5 a コア
- 5 a' 弱い強磁性体超硬合金部
- 6 上パンチ
- 7 下パンチ
- 8 充填磁石粉
- 9 ボールピース
- 10 ダイス非磁性体
- 11 パーメンジュール
- 21 円筒磁石
- 22 着磁機
- 23 着磁機磁極歯
- 24 着磁機コイル
- 30 3相モータ
- 31 ステータ歯
- 32 コイル
- 33 モータロータ軸

10

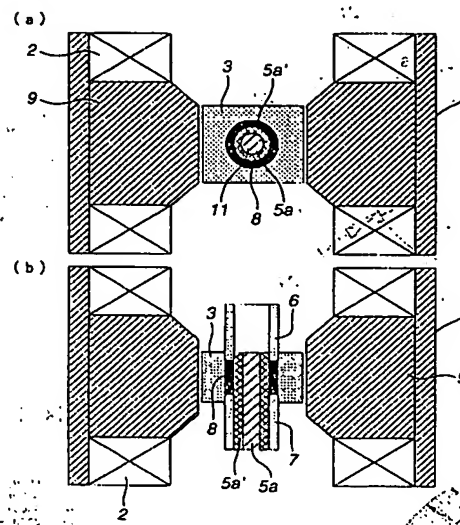
【図1】



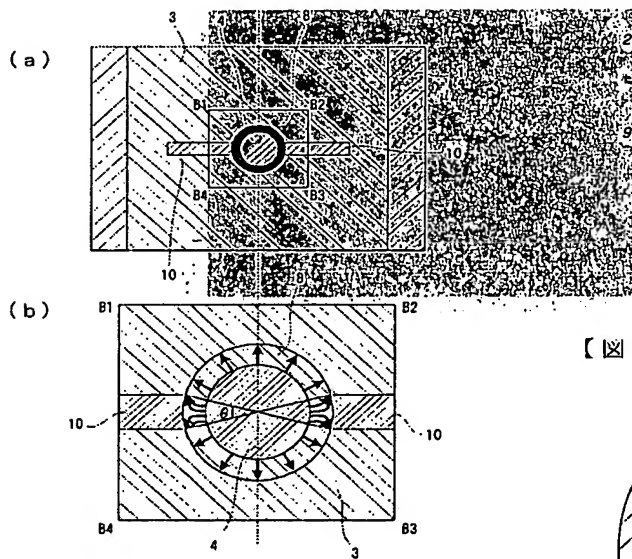
【図 3】



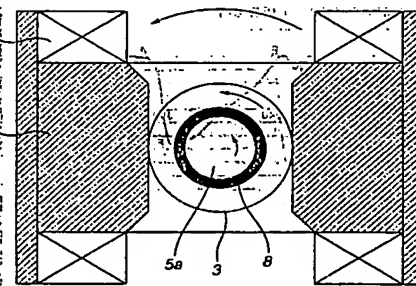
【図 4】



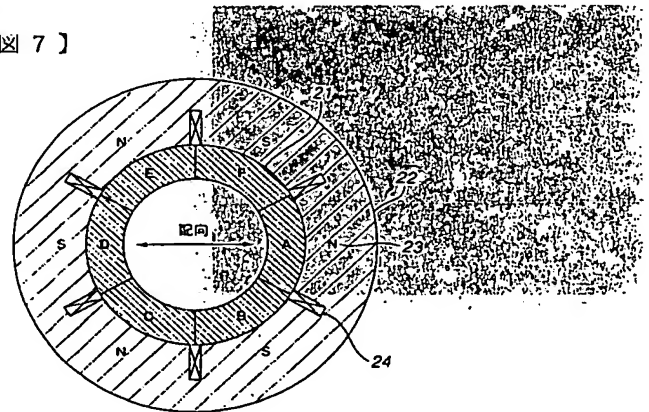
【図 5】



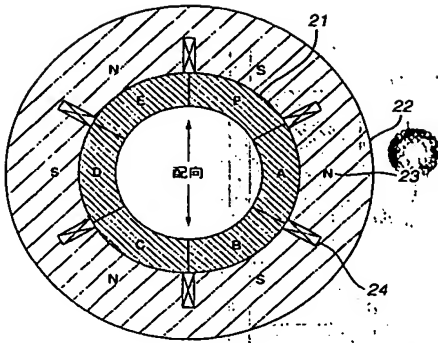
【図 6】



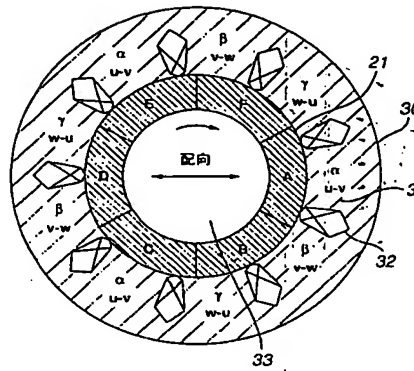
【図 7】



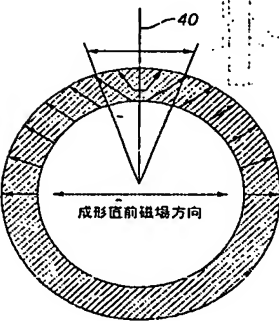
【図 8】



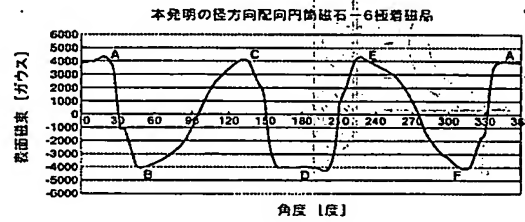
【図 10】



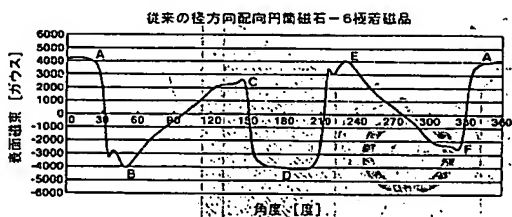
【図 9】



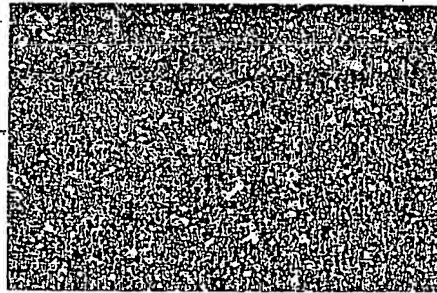
【図 11】



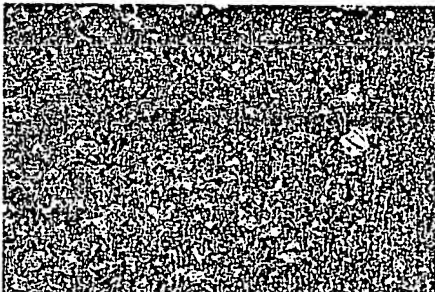
【図 12】



【図 14】

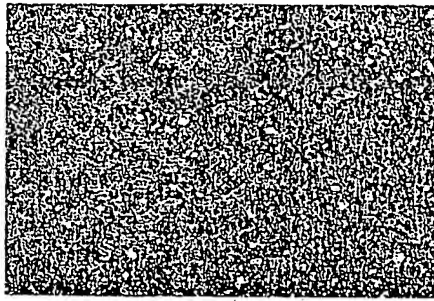


【図 13】

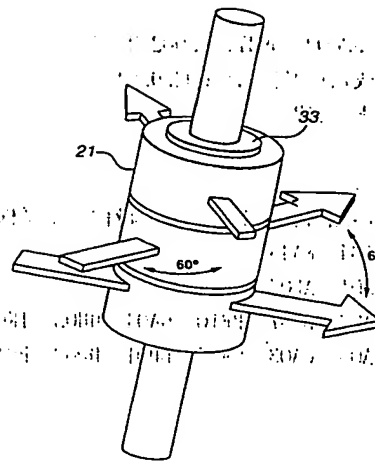


磁石方向

【図 15】



【図 16】



フロントページの続き

(31)優先権主張番号 特願2002-259477(P2002-259477)

(32)優先日 平成14年9月5日(2002.9.5)

(33)優先権主張国 日本国(JP)

(72)発明者 美濃輪 武久

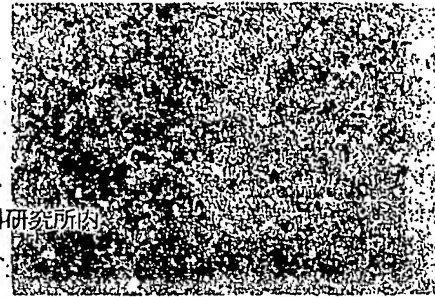
福井県武生市北府2-1-5 信越化学工業株式会社磁性材料研究所内

Fターム(参考) 4K018 CA04 KA45

5H002 AA01 AE07

5H621 AA02 BB07 BB10 GA04 HH03 JK03

5H622 AA03 CA03 CA05 DD01 DD02 PP11 QA02 QB03



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.